

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫一：以風洞實驗為基礎的高層建築防風設計準則 (III)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-020-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：鄭啟明

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 23 日

以風洞試驗為基礎的高層建築防風設計準則(3/3)

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：鄭啟明

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☒出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學土木系

中 華 民 國 94 年 11 月 1 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以風洞實驗為基礎的高層建築防風設計準則(3/3)

## A Wind Tunnel Data based Intermediate Wind Resistant Design Guide for Tall Buildings (3/3)

計畫編號：NSC 93-2211-E-032-020

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：鄭啟明 淡江大學土木系

計畫參與人員：林倚仲、林俊偉 淡江大學土木系

### 一、中文摘要

本計畫以數值模式模擬出一個特定條件下之颱風，計算颱風內不同位置之風速與風向。並計算該颱風通過特定區域時，對 280m 高之方型均勻斷面建築物產生之風載重。計算風力所需的風力係數與風力頻譜採用本計畫前二年的風洞實驗結果。分析結果顯示，無風向性與有風向性之建築物基底合力比值可達 1.8，差別十分顯著。

**關鍵詞：**颱風模擬、高層建築、方向性、設計風力

### Abstract

In this year's research project, the effect of directionality on design wind load was studied. Firstly, the wind speed vectors within a typhoon radius was simulated through a typhoon numerical model. Then the simulated typhoon was assumed to pass through the site of a 280m tall building by a specific route. The effect of wind speed directionality on the wind load was studied. The result indicates that the ratio between the omni-directional and the directional design wind loads can be as large as 1.8.

**Keywords:** Typhoon simulation, Tall building, Directionality, Design wind load

### 二、前言

現行計算建築物風力載重之基本設計風速，大多數並未詳細考慮不同風向來風之個別特徵，包括該風向之發生機率、極值風速等等。在進行結構受風反應之計算時，其設計風速是根據所有風向出現過之

極值風速經由機率計算相對應之風速，再將此單一之無風向性設計風速，作用在目標建築物之所有風攻角，並選取數種最大受風反應之組合做為該建築物之結構設計風載重。然而，鮮少出現風向風速發生機率在各方向大致均勻之地區。以台北氣象站之數據為例，其風向發生機率超過 50% 出現在東北東方、東方以及東南東方三個方向，顯示建築物受風作用有明顯之風向性存在。

決定台灣地區設計風速之氣候條件以颱風為主，受限於台灣地區之颱風紀錄次數極其有限，不足以進行不同風向之設計風速評估。因此針對台灣地區之颱風特性進行模擬，藉由數值方式產生足夠數量之颱風資料，是目前分析含有風向性之基本設計風速時，較為常用之方式。本計畫即嘗試藉由文獻內之颱風模式模擬出一個特定條件下之颱風，計算颱風內不同位置之風速與風向。再假設該颱風通過一特定地點，可統計出該地點在颱風影響下不同風向之最大風速值。並將此風向風速作用於已知風力係數、風力頻譜之建築物上，實際計算出其設計風載重之大小，並與未考慮風向性之風載重做一比較。以下逐步介紹颱風模擬之相關文獻、本計畫採用之計算模式、建築物設計風載重分析方式以及計算結果。

### 三、颱風模式

計算颱風範圍內任意一點之風速與其方向，包括兩個步驟：一為颱風內梯度風速之計算，另一為大氣邊界層風速剖面之計算。在已知梯度風速下，即可透過風速

剖面換算出颱風內任意一點風速與風向。

#### 1. 梯度風速

Meyers and Markin (1961)以極座標表示之颱風梯度風速為：

$$u_G(\theta_r, r) = \frac{r}{\rho} \frac{\partial P(r)}{\partial r} + u_G(\theta_r, r)(C \sin \theta_r - fr)$$

$C$ ：颱風移動速度； $\theta_r$ ：極座標之角度； $\rho$ ：空氣密度； $f$ ：科氏力參數 $=2\omega \sin \varphi$ ， $\varphi$ 為緯度。

其中，距離颱風中心 $r$ 處之壓力場 $P(r)$ 以 Schloemer(1954)提出之經驗公式（極座標）表示之：

$$P(r) = P_c + D_p e^{-(R_m/r)}$$

$P_c$ ：颱風中心氣壓； $D_p$ ：颱風中心與周圍之氣壓差； $R_m$ ：最大風速半徑

解一元二次聯立方程式得 $u_G(\theta_r, r)$ ：

$$u_G(\theta_r, r) = \frac{C \sin \theta_r - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{C \sin \theta_r - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \frac{\partial P(r)}{\partial r}}$$

#### 2. 大氣邊界層垂直風速風向剖面

颱風影響範圍內之垂直風速、風向剖面受到該處流場渦度與柯氏力之影響，Meng (1997)等提出了下列之大氣邊界層模式：

$$u(z) = u_G(z/z_G)^{\alpha_u}$$

$$\theta(z) = \theta_G + \theta_s \left(1.0 - 0.4 \frac{z}{z_G}\right)^{1.1}$$

$u(z)$ ：高度 $z$ 處之風速； $\theta(z)$ ：高度 $z$ 處之風向； $u_G$ ：梯度風速； $\theta_G$ ：梯度風速處之風向； $z_G$ ：邊界層之高度； $\theta_s$ ：任一點之氣流入流角度。

其中各參數計算如下：

$$Ro_\lambda = u_G / f_\lambda z_0$$

$$\alpha_u = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 \log^2 z_0 + 0.0016 \log^3 z_0$$

$$z_G = 0.06 \frac{u_G}{f_\lambda} (\log Ro_\lambda)^{-1.45}$$

$$\theta_s = (69 + 100\xi)(\log Ro_\lambda)^{-1.13}$$

$$f_\lambda = \left(\frac{\partial u_{\theta_g}}{\partial r} + \frac{u_{\theta_g}}{r} + f\right)^{0.5} \left(2 \frac{u_{\theta_g}}{r} + f\right)^{0.5}$$

$$\xi = \left(2 \frac{u_{\theta_g}}{r} + f\right)^{0.5} \left(\frac{\partial u_{\theta_g}}{\partial r} + \frac{u_{\theta_g}}{r} + f\right)^{-0.5}$$

$Ro_\lambda$ ：Rosby number（流體慣性力與柯氏力

之比值）； $z_0$ ：粗糙長度； $u_{\theta_g}$ ： $u_G$ 之切線分量，因為 $z_G$ 高度 $u_{\theta_r} \doteq 0$ ，故此處假設 $u_{\theta_g} = u_G$ 。

#### 四、風洞實驗

文中之高層建築風洞試驗資料採取劉（2001）之高頻力平衡儀實驗之數據。縮尺模型為長寬比 1、高寬比 7 之均勻斷面方柱，地況為  $\alpha=0.15$  之開闊地形，實驗之風向角以 22.5 度為間距、共計 16 個風向角，以縮尺 1/400 換算至實場。各風向角之風力係數如表 1，風攻角 202.5 度~237.5 度與 157.5 度~22.5 度對稱。

表 1 開闊地形、高寬比 7 方柱於不同風攻角之風力係數

風攻角	$C_{fx}$	$C'_{fx}$	$C_{fy}$	$C'_{fy}$	$C_{mx}$	$C'_{mx}$
0	1.104	0.109	0.006	0.209	-0.023	0.137
22.5	1.000	0.075	0.098	0.075	-0.091	0.046
45	0.824	0.067	0.759	0.064	-0.474	0.037
67.5	0.276	0.074	0.960	0.075	-0.581	0.042
90	0.025	0.191	1.064	0.103	-0.662	0.061
112.5	-0.093	0.082	0.933	0.078	-0.588	0.044
135	-0.739	0.062	0.786	0.066	-0.454	0.038
157.5	-0.947	0.076	0.225	0.074	-0.093	0.045
180	-1.082	0.107	0.012	0.212	0.023	0.136

#### 五、設計風載重

建築物所受的風力因風攻角而易，設計風力需由所有之風攻角中找出適當的風力組合。建築物在特定風攻角條件下的設計風載重為該風向的極值設計風力：

$$F_{\max,i} = \bar{F}_i + g \sigma_{F_{\text{int},i}}$$

$$g = \sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(vT)}}$$

其中  $F_{\max,i}$  為第  $i$  層之極值設計風載重。 $\bar{F}_i$  為第  $i$  層之平均風載重。 $g$  為尖峰因子(peak factor)。 $\sigma_{F_{\text{int},i}}$  為第  $i$  層之動態風載重均方根值。

建築物的設計風力包含了順風向、橫風向及扭轉向設計風力。在風力組合上，假設順風向與橫風向為獨立事件，並求出

各方向之極大廣義力，並假設各方向之極大廣義力並非同時發生，據以求出兩方向向量組合之極大值。x 向 y 向風力的組合

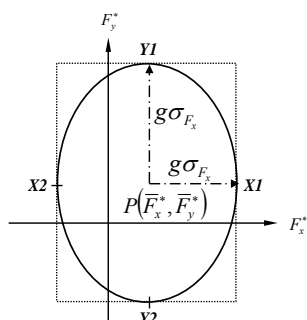


圖2 廣義座標風力的可能載重組合

限多種的載重型式，其中歸納出下列幾種對於建築抗風系統影響最為嚴重的載重組合（圖3）：

(1) 橢圓圖中 X1、X2 分別代表當採用 x 向風力的極大或極小值時，y 向風力採用平均值。Y1、Y2 則意涵 y 向風力採用極大或極小值時，x 向使用風力之平均值。

(2) 上述的四種載重組合雖然涵蓋了 x 向與 y 向的最大風力，然而卻未包括 x 向與 y

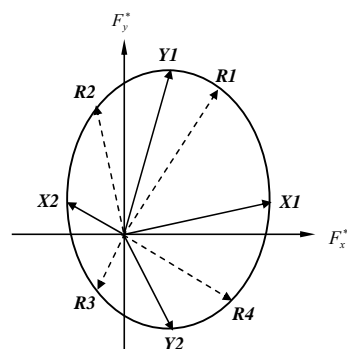


圖3 廣義座標風力的8種建議載重組合

向的最大合力。因此，另需考慮的風力組合為橢圓圖中四個象限合力的最大值 R1、R2、R3、R4。一般建築結構的扭轉向風力並非主要設計考量，因此扭轉向設計風載重逕直採用扭矩風載重的極值。如此，一個風攻角取 8 種載重型式，其次在所有風攻角的載重組合中，分別選取 X1、X2、Y1、Y2、R1、R2、R3、R4 的最大值，即為該建築的設計風力組合。

## 五、案例分析

本計畫藉由 Pande 等(2002)描述之某特定颱風參數進行上述颱風模擬，並將之作用

於一方形斷面高層建築物，以了解含風向性之設計風速對該建築物設計風載重之影響。相關之參數包括：颱風中心與周圍之氣壓差值 ( $D_P$ ) 45mb，最大風速半徑 ( $R_m$ ) 30km，颱風移動速度 ( $C$ ) 4.1m/s，科氏力參數 ( $f$ )  $5.364 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，空氣密度 ( $\rho$ )  $1.21 \text{ kg/m}^3$ ，粗糙長度 ( $z_0$ ) 0.3m。所計算風速之高度為離地 10m 之位置。

計算結果如圖 4~6，繪圖使用之內插方式為 Kriging 法。圖 4 為梯度風速等風速線，平均風速自 200km 半徑之 16m/s 升高到颱風中心附近之 38m/s 左右。此梯度風速因為地表粗糙度之影響，風速隨高度減少而降

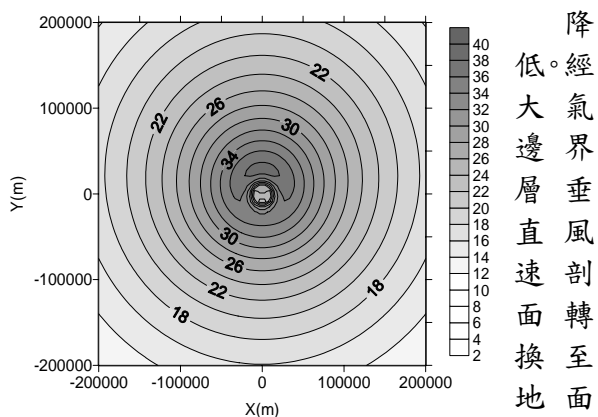


圖4 梯度風速等風速線

低。經大氣邊界層垂直風剖面轉換至地面高度

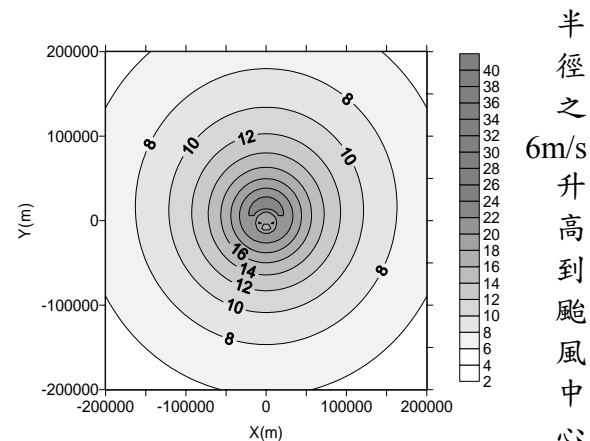


圖5 地表風速等風速線

之 22m/s。

將地表風速風向合併繪製於圖 6 之向量圖，圖示為 5m/s 風速範圍之資料。假設颱風通過某特定位置之路徑為直線時，該位置所遭遇到之風速方向將大致分佈在 2~4 個風向角之範圍內，不出現其他方向之風速。本文假定颱風路徑為 X 軸之方向且中

心通過目標區域，因此出現之風向集中在 112.5 度、135 度及對稱方向之 292.5 度、315 度 4 個方向上。

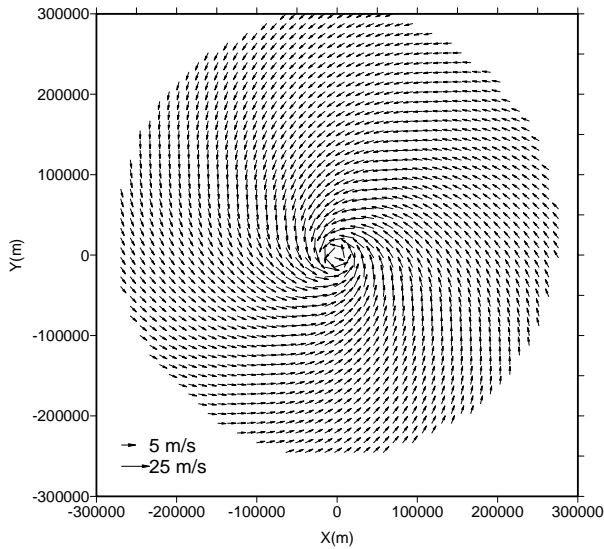


圖 6 地表風速向量 (5m/s 風速半徑)  
各風向設計風速之選取為颱風影響狀態下之最大風速，其值分別為 112.5 度、292.5 度之 21.8m/s 及 135 度、315 度之 21.1m/s。若不考慮風向性，則該位置之設計風速即為曾經出現之最大風速 21.8m/s。

## 2. 設計風載重

假設目標建築物有前述風洞試驗標的物之特性，則根據上述 2 種設計風速可求出相對應之設計風載重 (表 2)，結構阻尼比假設為 0.01，以符合強風作用下之結構動力特性。

表 2 為結構物基底剪力與扭矩之大小，其中最右側之  $F_x F_y$  合力可做為設計風載重之代表值，其比值為無風向性合力與有風向性合力之比。對於考慮風向性之狀況而言，若最大風速發生之方向不在建築物風力係數最大之角度，則其設計風載重將與無風向性之風載重有一定之差距。在本文

所選定之條件下，無風向性與有風向性之  $F_x F_y$  合力比值，於載重組合 R1 可達 1.8，而最小之比值也達到 1.3，差別十分顯著。

## 六、結論

風速之方向性對於結構物設計風載重之影響是未來風力設計所需考量之課題，而足夠之風速資料則為訂定設計風速之基本條件。鑒於歷年發生之侵台颱風數目不足以進行風向性風速之分析，因此數值方式便為可行之解決方案。本文嘗試在特定條件下建立單一颱風發生時之各區域風速風向分佈，並計算該颱風通過特定區域時，對 280m 高之方型均勻斷面建築物產生之風載重。分析結果顯示，無風向性與有風向性之建築物基底  $F_x F_y$  合力比值，於載重組合 R1 可達 1.8，差別十分顯著。惟此結果僅對單一颱風事件，詳細之設計風速計算有待更多數據之取得與分析。

## 七、參考文獻

1. M. Pande, T.C.E. Ho, M. Mikitiuk, G..A. Kopp, D. Surry, 'Implications on Typhoon York on the design wind speeds in Hong Kong.', J. wind engineering and industrial aerodynamics, 90, 2002, pp. 1569-1583.
2. Masahiro Matusi, Takeshi Ishihara, Kazuki Hibi, 'Directional Characteristics of probability distribution of extreme wind speeds by typhoon simulation.', J. wind engineering and industrial aerodynamics, 90, 2002, pp. 1541-1533.
3. P.N. Georgiou, A.G. Davenport, B. J. Vickery, 'Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones', J. wind engineering and industrial aerodynamics, 13, 1983, pp. 139-152
5. Yan Meng, Masahiro Matsui, Kazuki Hibi, 'A numerical study of the wind field in a typhoon boundary layer.', J. wind engineering and industrial aerodynamics, 67 & 68, 1997, pp. 437-448.
6. 鄭啟明, 傅仲麟, 蔡明樹, '台灣工業銀行內湖區新建大樓風洞試驗報告', 淡江大學風工程研究中心, 2004/9.

型式	定義	載重組合		設計風力基底剪力									
		風向角		Fx (MN)		Fy (MN)		T (MN-m)		Fx、Fy合力			
		有風向性	無風向性	有風向性	無風向性	有風向性	無風向性	有風向性	無風向性	有風向性	無風向性	比值	
X1	Xpeak(+), Ymean, Tpeak	140	0	13.3	21.3	-6.7	0.1	-110.8	-169.4	14.9	21.3	1.4	
X2	Xpeak(-), Ymean, Tpeak	60	80	-13.3	-20.9	6.9	0.1	-21.6	-118.6	15.0	20.9	1.4	
Y1	Xmean, Ypeak(+), Tpeak	50	40	-0.8	0.2	15.0	20.0	136.4	153.8	15.0	20.0	1.3	
Y2	Xmean, Ypeak(-), Tpeak	130	120	2.4	0.2	-15.2	-20.4	-182.6	-250.7	15.4	20.4	1.3	
R1	第一象限XY合力最大值	50	160	2.8	17.2	14.6	20.4	136.4	135.1	14.8	26.7	1.8	
R2	第二象限XY合力最大值	60	80	-11.2	-17.0	11.9	18.8	32.8	140.3	16.4	25.4	1.5	
R3	第三象限XY合力最大值	130	120	-3.8	-1.4	-13.7	-20.3	-182.6	-250.7	14.2	20.4	1.4	
R4	第四象限XY合力最大值	140	120	11.4	12.4	-11.7	-18.6	-110.8	-250.7	16.4	22.3	1.4	

